

水耕ポット試験によるヒマワリおよびソバ幼植物体のタリウム吸収に及ぼす 培養液タリウム濃度の影響

¹ 渡邊浩一郎 ² 矢口義仁 ³ 渡邊 泉

¹ 生命環境学部自然環境学科 ² 生命環境学部自然環境学科卒業生 ³ 東京農工大学大学院農学研究院

Effect of thallium concentration in water culture solution on the growth
and thallium absorption of sunflower and buckwheat

¹ Koichiro WATANABE ² Yoshihito YAGUCHI ³ Izumi WATANABE

Summary

The effects of thallium (Tl) in nutrient solution medium on the growth and Tl concentration and content of sunflower (*Helianthus annuus* L. cv. Sunspot) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L. cv. Milkyway) seedlings were examined for 13 days in water culture solutions containing 0 (control), 0.25, 0.5, 1.0, and 2.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Tl.

The dry matter (DM) weight of leaves and stems of the sunflower seedlings grown in nutrient solution medium containing 0.25 and 0.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Tl decreased significantly to 41–45% of that of the control seedlings. The DM weight of leaves and stems of the sunflower seedlings grown in nutrient solution medium containing 2.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Tl was 14% of that of the control seedlings. No significant differences were observed between the DM weight of leaves and stems of the buckwheat seedlings grown in nutrient solution medium containing 0.25 and 0.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Tl and the control seedlings. The DM weight of leaves and stems of the buckwheat seedlings grown in nutrient solution medium containing 2.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Tl was 42% of that of the control seedlings. Vine chlorosis was observed in the leaves of sunflower seedlings at all Tl concentrations, although it was not observed in the leaves of the buckwheat seedlings at 0.25–1.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Tl.

Tl concentrations in the leaves and stems or roots of the sunflower seedlings at 0.5, 1.0, and 2.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Tl were approximately 2, 4–5, and 8–9 times higher than those of the seedlings at 0.25 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Tl. Tl concentrations in the leaves and stems or roots of the buckwheat seedlings at 0.5, 1.0, and 2.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Tl were approximately 2, 4, and 7–9 times higher than those of the seedlings at 0.25 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Tl. Tl contents of the leaves and roots of the sunflower and buckwheat seedlings increased with an increase in the Tl concentration of the nutrient solution. The concentration factor of Tl in the sunflower seedlings was higher than that in the buckwheat seedlings, but the difference was not observed in the Tl concentration of the nutrient solution.

These results suggest that Tl sensitivity is lower in the buckwheat plant than in the sunflower plant.

キーワード：タリウム吸収、水耕栽培、ソバ、ヒマワリ、幼植物体

Key words : thallium, concentration, water culture experiment, sunflower, buckwheat, seedling, growth

1. 緒言

タリウム (Tl) はすべての生物に対して有害であり、その毒性は非常に強いといわれている¹⁾。Tlの毒性に対する関心が高まるにつれて世界のTlの工業的需要は減少し、今日ではハイテク産業に限られるようになり、生産量も減少している²⁾。

Tlによる環境汚染は、諸外国^{3–6)}で見出されているほか、我が国では宮城県細倉鉾山および茨城県日立鉾山で排出されるTl等重金属による河川底質および土壌の汚染について報告されている⁷⁾。しかし、Tlによる環境汚染の世界的な蔓延や、Tlによる環境汚染の解決に緊急性を要することを指摘した報告は見あたらない。一方、都市下水あるいは化学工場汚泥から生じる余剰汚泥の土壌への施用により土壌の易溶性画分のTl濃度が高くなること^{8,9)}、ま

た電子廃棄物に由来するTl等レアメタルが溶出されること¹⁰⁾を示す報告もあり、これまでに使用されてきたTl含有資材が廃棄されることによってTlによる環境汚染が生じることも懸念される。今後、Tlが環境中に放出された場合を想定すると、その汚染対策に関する基礎的データを収集しておくことも必要であると考えられる。

また、Tlの需要はハイテク産業に限られているものの、Tlのようなレアメタルの安定供給も重要な課題である。埋め立て等により地中に蓄積されてきた工業製品から放出されるTlを回収することは、汚染環境から有害物質を除去するという視点だけではなく、有用な資源の再利用の途にもなる^{11–12)}。

一方、有害元素による土壌汚染の対策や、土壌中のレアメタルの回収の技術として、植物に対象元素

を吸収させて回収するファイトレメディエーションやファイトマイニングも注目されている¹³⁾。これらの技術に適する植物の性質として、植物体の生育の低下をなるべく招かずに、植物体茎葉部に対象となる元素が高濃度で存在することがあげられる。

植物の Tl 吸収については、Tl による農作物の生育阻害の面からは多く調べられている¹⁴⁻²⁵⁾。また、松本ら²⁶⁾はレアメタル濃縮植物種の探索において、Tl 添加土壌で栽培した植物体の茎葉部の Tl 濃度が、供試したすべての植物種で高くなることを報告している。しかし、この報告では、Tl を 5mg 乾土 kg⁻¹ となるように Tl を添加した土壌を用いて 1 ヶ月に渡る栽培を行っているにも関わらず植物体の生育に関するデータは存在せず、議論されていない。そのため、Tl のファイトレメディエーションやファイトマイニングに適する植物種の選定に関する基礎的知見については不明な点も多い。

本研究では、Cd 等を茎葉部に集積しやすいといわれ、茎葉部の Tl 濃度を高められる可能性が示唆されるヒマワリ²⁶⁾と、Pb 等を茎葉部に集積する性質をもつソバを対象に、Cd や Pb と同じ 2 価の金属元素である Tl の茎葉部への集積と植物体の生育について調べたので報告する。

なお、本研究で水耕ポット実験を行ったのは、Tl の土壌への吸着反応等の影響を避け、Tl が植物に直接に及ぼす影響を調べるためである。

2. 実験方法

供試植物としてヒマワリ (*Helianthus annuus* L., 品種：サンスポット；サカタのタネ (株)) および

ソバ (*Fagopyrum esculentum* L., 品種：ミルキーウェイ；(株) サカタのタネ) を用いた。

両植物種とも、種子を次亜塩素酸ナトリウム溶液 (有効塩素 0.5%) で表面殺菌した後、市販バーミキュライトに 2012 年 8 月 2 日に播種し、最大容水量の約 60% となるように 1/5 倍に希釈した Hoagland-Arnon 培養液 (pH5.8 ~ 6.0) を与えながら第一本葉が展開するまで人工光型植物育成装置 (小糸工業 (株) 製パーソナルグロースキャビネット；コイトロン HNM-S11 型) で 11 日間育苗した。育苗条件は、装置内床面の平均光強度約 220 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、明期 14 時間、暗期 10 時間、温度は明期 25℃、暗期 20℃、相対湿度は約 70% であった。

第一本葉が展開するまで育苗した植物体を 500mL 容ポリプロピレン製容器に移植し、1/2 倍に希釈した Hoagland-Arnon 培養液 (pH5.8 ~ 6.0) を用いて、本学上野原キャンパス (山梨県上野原市) 構内に設置した自然光型ファイトトン (小糸工業 (株) 製コイトロン S-180; 温度は昼 27℃、夜 22℃、相対湿度は約 70% に設定) 内で 9 日間水耕栽培した後、Tl 処理試験を行った。

Tl 処理区として、0 (対照区), 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 区の 5 区を設けた。試薬特級 Tl (NO_3)₂ を用いて Hoagland-Arnon 培養液に所定の Tl 濃度になるように Tl を添加し、pH を 5.8 ~ 6.0 に調整した。試験は各区 5 連で 13 日間行った。この間、培養液の交換を 1 日おきに行った。

Tl 処理試験終了時に、植物体の茎葉部の葉数を計測した後、サンプリングし、茎葉部と根部に分け、80℃ で 48 時間通風乾燥後、乾物重を測定した。茎

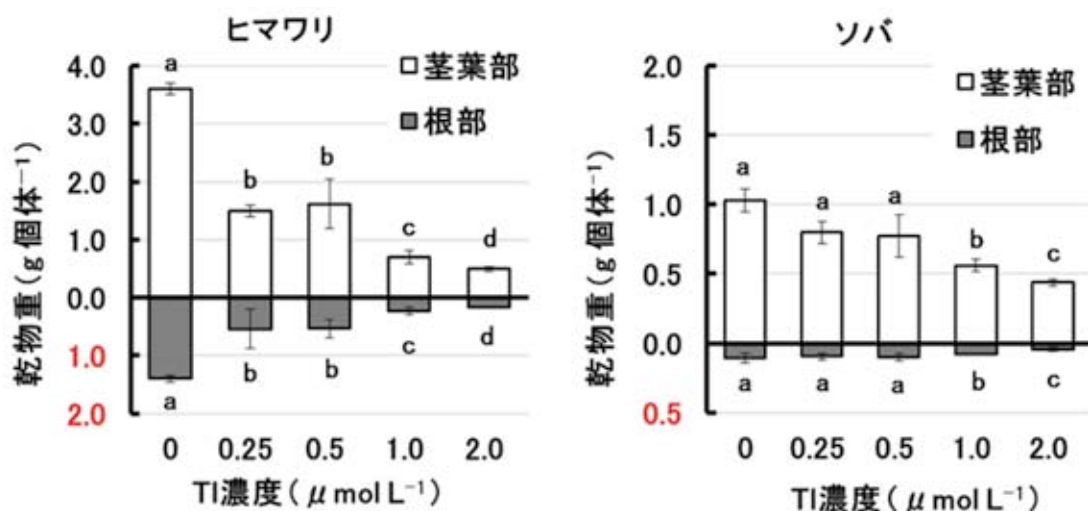


図1 ヒマワリおよびソバの生育に及ぼす培養液中 Tl 濃度の影響
(n=5、グラフ中の垂線は標準偏差を表し、異なる文字間で $t < 0.05$ で有意差あり)

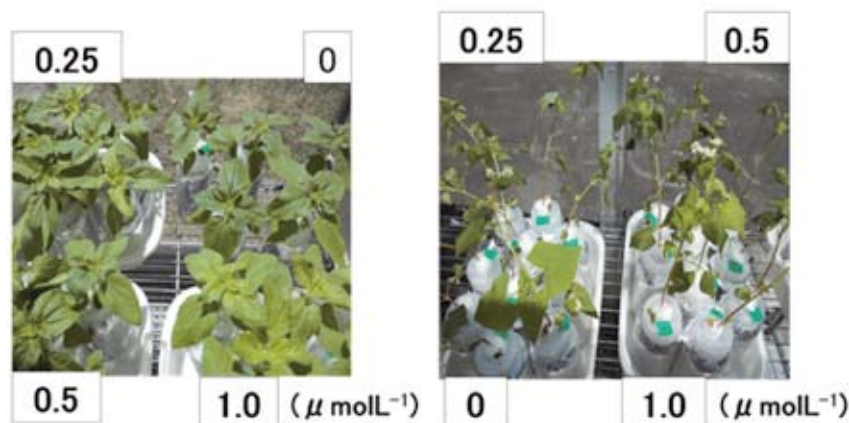


写真1 13日間 TI 処理を行ったヒマワリ（左）およびソバ（右）

葉部および根部をそれぞれ硝酸・過塩素酸法により湿式分解し、TI濃度を内標準元素にロジウム（Rh）を用いて ICP-MS 法で定量分析した。

得られた結果については t-test により有意差検定を行った。

3. 結果

培養液中 TI 濃度が生育に及ぼす影響について、1 個体あたりの茎葉部および根部（赤字）の乾物重で表し、図1に示した。

茎葉部の乾物重は、ヒマワリでは、培養液中 TI

濃度 0.25 および 0.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 区で対照区の約 41 ～ 45% に有意に減少した。さらに 1.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 区では約 19%、2.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 区では約 14% にそれぞれ有意に減少した。ソバでは、培養液中 TI 濃度が 0.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 区までは対照区に比べて有意な減少はみられず、1.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 区で対照区の約 54%、2.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 区では約 42% にそれぞれ有意に減少した。

一方、根部の乾物重は、ヒマワリでは、培養液中 TI 濃度 0.25 および 0.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 区で対照区の約 38% に有意に減少した。さらに 1.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 区で約 16%、2.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 区では約 11% にそれぞれ有

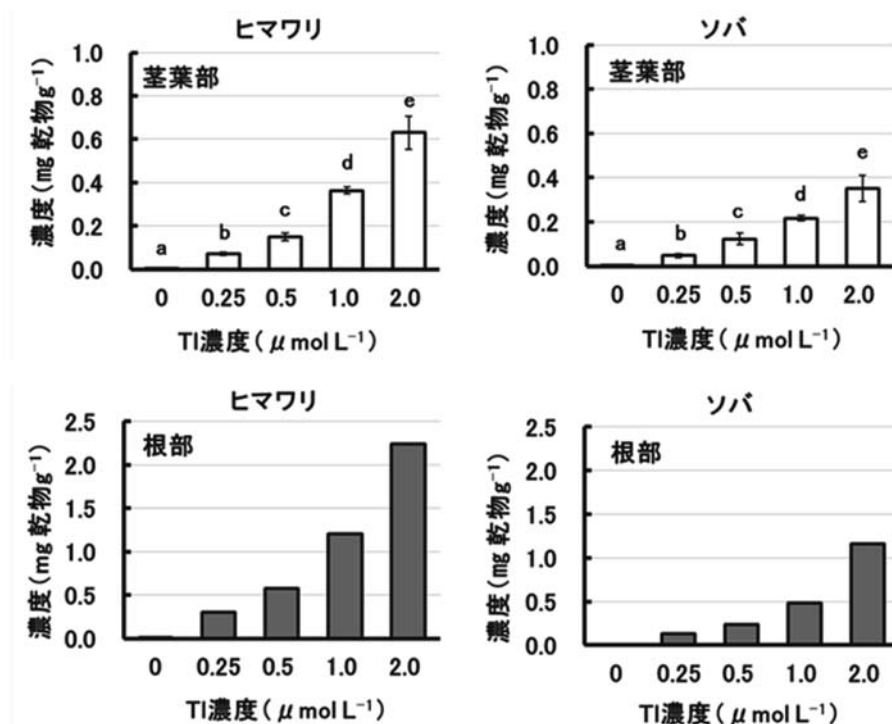


図2 ヒマワリおよびソバの TI 濃度に及ぼす培養液中 TI 濃度の影響

（茎葉部は n=5、グラフ中の垂線は標準偏差を表し、異なる文字間で $t < 0.05$ で有意差あり、根部は試料量が少なかったため処理区毎にまとめて分析した値を示す。）

意に減少した。ソバでは、培養液中 Tl 濃度が $0.5 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区までは対照区に比べて有意な減少はみられず、 $1.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で対照区の約 70%、 $2.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区では約 43%にそれぞれ有意に減少した。

また、13 日間 Tl 処理を行ったヒマワリおよびソバを写真 1 に示した。

葉脈クロロシスが、ヒマワリでは培養液中 Tl 濃度 $0.25 \mu \text{mol L}^{-1}$ 以上の区で観察され、 $1.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で顕著であったが、ソバでは $0.25 \sim 1.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ のいずれの処理区においても観察されなかった。

次に、植物体 Tl 濃度を図 2 に示した。なお、根部については、試料量が少なかったため、処理区毎にまとめて分析に供した。

茎葉部 Tl 濃度は、両植物種とも培養液中 Tl 濃度が高くなると有意な増加がみられた。ヒマワリでは、 $0.5 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $0.15 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$ 、 $1.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $0.36 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$ 、 $2.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $0.63 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$ であり、それぞれ $0.25 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区の濃度 ($0.07 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$) の約 2 倍、約 5 倍および約 9 倍となった。ソバでは、 $0.5 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $0.12 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$ 、 $1.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $0.21 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$ 、 $2.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $0.35 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$ であり、それぞれ $0.25 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区の濃度 ($0.05 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$) の約 2 倍、約 4 倍および約 7 倍となった。

一方、根部 Tl 濃度も両植物種とも培養液中 Tl 濃度が高くなるにつれて増加する傾向がみられた。ヒマワリでは、 $0.5 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $0.58 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$ 、 $1.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $1.21 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$ 、 $2.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $2.24 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$ であり、それぞれ $0.25 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区の濃度 ($0.30 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$) の約 2 倍、約 4 倍および約 8 倍となった。ソバでは、 $0.5 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $0.24 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$ 、 $1.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $0.48 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$ 、 $2.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $1.16 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$ であり、それぞれ $0.25 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区の濃度 ($0.13 \text{ mg 乾物 g}^{-1}$) の約 2 倍、約 4 倍および約 9 倍となった。

また、1 個体あたりの Tl 含量を表 1 に示した。茎葉部 Tl 含量は、ヒマワリ、ソバのいずれも $0.5 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区までは有意に増加した。ヒマワリでは $0.5 \sim 2.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区の間で有意な差はみられなかったが、ソバでは 1.0 および $2.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $0.5 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区よりも有意に増加した。また、根部の Tl 含量はヒマワリでは培養液中 Tl 濃度が高くなるに従い増加したが、ソバでは培養液中 Tl 濃度 0.5 から $2.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区までは有意に増加しなかった。

また、1 個体あたりの Tl 含量を表 1 に示した。茎葉部 Tl 含量は、ヒマワリ、ソバのいずれも $0.5 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区までは有意に増加した。ヒマワリでは $0.5 \sim 2.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区の間で有意な差はみられなかったが、ソバでは 1.0 および $2.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区で $0.5 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区よりも有意に増加した。また、根部の Tl 含量はヒマワリでは培養液中 Tl 濃度が高くなるに従い増加したが、ソバでは培養液中 Tl 濃度 0.5 から $2.0 \mu \text{mol L}^{-1}$ 区までは有意に増加しなかった。

表 1 ヒマワリおよびソバの Tl 含量に及ぼす培養液中 Tl 濃度の影響
(n=5 (茎葉部)、異なる文字間で $p<0.05$ で有意差あり)

培養液 Tl 濃度 ($\mu \text{mol L}^{-1}$)	ヒマワリ				ソバ			
	含量(mg 個体 $^{-1}$)				含量(mg 個体 $^{-1}$)			
	茎葉部		根部		茎葉部		根部	
0	0.000	a	0.000		0.000	a	0.000	
0.25	0.106	b	0.159		0.038	b	0.048	
0.5	0.240	c	0.331		0.092	c	0.091	
1.0	0.256	c	0.619		0.122	d	0.142	
2.0	0.319	c	1.400		0.152	d	0.212	

表 2 ヒマワリおよびソバにおける濃縮係数

培養液 Tl 濃度 ($\mu \text{mol L}^{-1}$)	ヒマワリ		ソバ	
	茎葉部	根部	茎葉部	根部
0.25	1378	5941	948	2544
0.5	1467	5633	1202	2303
1.0	1775	5906	1061	2354
2.0	1542	5488	858	2837

molL⁻¹ 区間の増加の割合は 0.25 μ molL⁻¹ 区から 0.5 μ molL⁻¹ 区間の増加の割合よりも低かった。

さらに、図 2 に示した各部位の Tl 濃度を培養液中 Tl 濃度で割ることにより濃縮係数を求めた。その結果を表 2 に示した。

濃縮係数は、ヒマワリの茎葉部では培養液中 Tl 濃度が高くなるにつれて高くなり 1.0 μ molL⁻¹ 区で 1755 と最も高くなった。根部では、培養液中 Tl 濃度の変化との間に一定の関係はみられず 5488 ~ 5941 で推移していた。一方、ソバの茎葉部では 0.5 μ molL⁻¹ 区で 1202 と最も高く、培養液中 Tl 濃度が高くなると低下し 2.0 μ molL⁻¹ 区で 858 と最も低くなった。根部では、0.25 ~ 1.0 μ molL⁻¹ 区では 2303 ~ 2544 であったが、2.0 μ molL⁻¹ 区では 2837 と他の区よりも高くなった。

4. 考察

農用地土壌における Tl の許容濃度のガイドラインがドイツで設定されており、1 μ g/g 乾土と極めて低い²¹⁾。一方、ヒマワリ茎葉部の Tl 濃度を高められる可能性を示唆した松本らの研究²³⁾における土壌中 Tl 濃度は 5 μ g/乾土 g であり、ガイドラインの 5 倍の濃度である。土壌中の全 Tl のうち可給性 Tl が占める割合については明らかにされていないが、本研究で設定した 0.25 μ molL⁻¹ 区の Tl 濃度は 0.05 μ g/ml であり、ガイドラインで定められた濃度の 1/20、松本らの研究で使用された濃度の 1/100、また 2.0 μ molL⁻¹ 区でもそれぞれ 1/2.5、1/12.5 と低い濃度である。

本研究では、水耕ポット試験で 13 日間の Tl 処理を行ったところ、培養液中 Tl 濃度 0.25 および 0.5 μ molL⁻¹ 区の茎葉部 Tl 濃度にヒマワリとソバの間では大きな差はみられなかったが、ソバでは培養液中 Tl 濃度 0.5 μ molL⁻¹ 以下では 1 個体あたりの乾物重は対照区と有意な差はみられず、葉脈クロロシスもみられなかった。一方、ヒマワリでは培養液中 Tl 濃度 0.25 μ molL⁻¹ 以上で 1 個体あたりの乾物重は対照区に比べて有意に減少し、葉脈クロロシスが観察され、培養液中 Tl 濃度 1.0 μ molL⁻¹ 以上の区の生育の減少もソバよりも大きい。これらのことから、Tl に対する感受性はソバの方がヒマワリよりも低いと考えられる。

茎葉部および根部の 1 個体あたりの Tl 含量から、Tl の茎葉部と根部の分布率を算出すると、ヒマワリの 1.0 および 2.0 μ molL⁻¹ 区では茎葉部に 29% および 19% しか集積していなかったが、ヒマワリの

0.25 および 0.5 μ molL⁻¹ 区、ソバの 0.25 ~ 2.0 μ molL⁻¹ 区では 41 ~ 50% が茎葉部に蓄積していた。Tl 感受性と Tl の茎葉部と根部の分布の関係については、感受性が低い植物種の方が高い植物種よりも茎葉部の Tl 分布率が高い事例^{12,15,22)}と、感受性が低い植物種の方が茎葉部の Tl 分布率が低い事例¹⁸⁾が報告されており、Tl に対する感受性の高低と茎葉部の Tl の分布率との間には一定の関係を見いだすことはできない。

また、13 日間という短期の水耕ポット試験であったためか、いずれの培養液中 Tl 濃度でも、ヒマワリの方がソバよりも 1 個体あたりの乾物重は大きかった。そのため、植物体 1 個体あたりの Tl 含有量はヒマワリの方が多くなったと考えられる。しかし、ファイトレメディエーションやファイトマイニングに利用する植物種を検討する上で、クロロシスが発生し、生育が著しく劣る植物体を利用することは、Tl が土壌中に集積する現場における利用であるものの、景観を損ねることにもなる。従って、Tl 含有量が多いヒマワリの方が必ずしも適するとはいえないと考えられる。

一方、ソバは、生育の有意な低下がみられない 0.5 μ molL⁻¹ 区で茎葉部の濃縮係数が最も高く、培養液中 Tl 濃度を高めたときの生育の低下がヒマワリよりも低いことから、長期間の Tl 処理栽培に耐えられ、茎葉部の Tl 含量を高められる可能性も考えられる。しかし、ソバとヒマワリでは個体サイズがかなり異なり、栽植密度も大きく異なるので、今後、これらの点を考慮した長期間の Tl 処理栽培試験を行い、ソバの茎葉部への Tl 集積について調べる必要がある。

5. 引用および参考文献

1. WHO : Thallium, Environmental Health Criteria 182 : WHO, Geneva, 1996, pp.274.
2. 浅見輝男 : タリウム、データで示す—日本土壌の有害金属汚染、アグネ技術センター、東京、2001, pp.304-305.
3. V.Zitko, W.V.Cason and W.G.Carson : Thallium : Occurences in the Environmental and Toxicity to fish. *Bull.Environ.Contam.Toxicol.*, 13, 23-30, 1975.
4. J.Schoer : Thallium; Anthrogenic Compounds : *The Handobook of Environmental Chemistry*, vol.3, Part C, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1984, pp.143-214.

5. D.X.Zhou and D.N.Li : Chromic thallium poisoning in a rural area of Guizhou Province,China. *J.Environ.Health*, 48,14-18,1985.
6. Anon : Hair-raising. *New Sci.*, 28 Jan., 28, 1989.
7. T.Asami,S.Saeki,C.Mizui,N.Nogami,M.Takahashi,H.Nshikawa and M.Kubota : Contamination of the sediments and soils with thallium and related harmful discharged from the Hosokura Mine and Smelter, Miyagi Prefecture, Japan. *J.Field Sci.*, 2,13-22,2002.
8. A. Kawasaki and S. Arai : Evaluation of digestion methods for multi-elemental analysis of organic wastes by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 42, 251-260,1996.
9. A. Kawasaki, R. Kimura and S. Arai : Rare earth elements and other trace elements in wastewater treatment sludges. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 44, 433-441, 1998.
10. 村田智吉、稲葉一穂、越川昌美、渡邊未来、山村茂樹、岩崎一弘、滝上英孝 : 電子廃棄物に由来する溶出元素の土壤中拡散における降雨種の影響. *土肥要旨集*, 59, p.166, 2013.
11. 松川圭男. レアメタル資源の現状と問題点. *資源処理技術*. 1987;34 (4) : 216-222 .
12. 南條道夫. 都市鉱山開発ー包括的資源観によるリサイクルシステムの位置付け. *東北大学選鉱製錬研究所彙報*. 1988;43 (2) : 2 39-25 1.
13. Anderson CWN, Brooks RR, Chiarucci A, La-Coste CJ, Leblanc M, Robinson BH, Simcock R, StewartRB. Phytomining for nickel,thallium and gold. *JGeochem Explor.*, 67,407-415,1999.
14. C.E.Bortner and P.E.Karraker : Studies of frenching of tobacco with particular reference to thallium toxicity. *J.Ame.Soc.Agron.*, 32, 195-203, 1940.
15. M.A.Allus, H.M.Martin and G.Nickless : Comparative toxicity of thallium to two plant species. *Chemosphere*, 16, 929-932, 1987.
16. D.I.Kapan, D.C.Adriano and K.S.Sajwan : Thallium toxicity in bean. *J. Environ. Qual.*, 19, 359-365,1990.
17. .K.Gunther and F.Umland : Bonding states of thallium and cadmium in thallium-treated and native rape. *J.Inorg.Biochem.*, 36, 63-74,1989.
18. 浅見輝男、水井千鶴、野上尚子、久保田正亜 : 3種幼植物の成長およびタリウム含量に及ぼす水耕液中タリウム濃度の影響. *土肥誌*, 70,521-526,1999.
19. 浅見輝男、美浦孝誠、中島由美子、水井千鶴、佐合隆一、久保田正亜 : コマツナの成長およびタリウム含量に及ぼす土壤中タリウム濃度の影響. *土肥誌*, 70,527-532, 1999.
20. 沼生 歩、倉石 翼、久保田正亜 : コマツナに吸収されたタリウムの分布と転流. *人間と環境*, 34,19-22,2008.
21. U.Poutsch und F.A.Austenfled : Phytotoxizitat von Thallium : *Hydrokultur*, Teil 1 : Einfluss von Tl (I) auf das Wachstum und die Schwermetallgehalte von Erbsen-und Ackerbohnenpflanzen. *Z.Pflanzenernahr.Bodenkd.*, 148,73-82,1985.
22. 美浦孝誠、山本崇治、佐合隆一、浅見輝男、久保田正亜 : ハツカダイコンの生長およびタリウム含量に及ぼす土壤中タリウム濃度の影響. *人間と環境*, 26,118-123, 2000.
23. 浅見輝男、美浦孝誠、佐合隆一、桜井泰弘、久保田正亜 : 水稻の生育およびタリウム含量に及ぼす土壤中タリウム濃度と水管理の影響. *人間と環境*, 28,111-118, 2002.
24. 浅見輝男 : ドイツ、スイスの土壤およびドイツの食品中金属元素等の基準値、データで示すー日本土壤の有害金属汚染、アグネ技術センター、東京, 2001,pp.12-14.
25. 渡邊浩一郎、小比田知範 : キュウリ、トマト幼植物の生育とタリウム吸収に及ぼす培養液中タリウム濃度の影響. *帝京科学大学紀要*, 7,9-15,2011.
26. 松本英之、山本康彦、原田美穂子、後田俊直、岡本 拓、伊達悦二 : レアメタル濃縮植物の探索. *広島県立総合技術研究所保健環境センター研究報告*, 18,47-53, 2010.